

Procesos geomorfológicos activos en cárcavas del borde del piedemonte norte de la Sierra de Guadarrama (Provincia de Segovia, España)

Geomorphic active processes in gullies located at the north piedmont of the Guadarrama Mountains (Segovia province, Spain)

Ana Lucía^{1*}, Fuencisla Vicente², Cristina Martín-Moreno¹, José Francisco Martín-Duque¹, Miguel Ángel Sanz¹, Carlos de Andrés³ y José María Bodoque⁴

1. Departamento de Geodinámica, Fac. CC. Geológicas, UCM, C/ José A. Novais s/n, 28040, Madrid *aluciave@geo.ucm.es
2. Universidad SEK, Campus de Santa Cruz la Real: C/ Cardenal Zúñiga, 12, 40003, Segovia. 3. Licenciado en Geografía, Calle La Guitarra, nº 2, 3º dcha, 40003, Segovia. 4. Departamento de Ingeniería Geológica y Minera, Fac. CC. Medio Ambiente, Univ. Castilla-La Mancha, Campus Tecnológico de la Fábrica de Armas, Avda. Carlos III s/n, 45071, Toledo.

PALABRAS CLAVE: Cárcavas, Erosión hídrica, Movimiento de sedimentos, Conectividad, Segovia, España.

KEY WORDS: Gully, Water erosion, Sediment movement, Connectivity, Segovia, Spain.

RESUMEN

Dos localizaciones situadas cerca del borde del piedemonte norte de la Sierra de Guadarrama (provincia de Segovia) ofrecen formas erosivas en cárcavas bien desarrolladas: (a) un conjunto de barrancos encajados sobre arenas arcóscas del Mioceno, en un relieve de lomas y vaguadas del suroeste provincial; (b) cárcavas sobre arenas silíceas del Cretácico Superior, en un relieve de laderas de mesas y cuevas de la zona centro sur de la Provincia.

En este trabajo se caracteriza la actividad geomorfológica de esos barrancos y cárcavas, y se inicia su cuantificación. El objetivo está encaminado a conocer qué procesos movilizan sedimentos, y a evaluar sus tasas de actuación, intensidad, frecuencia de ocurrencia y conectividad entre los mismos.

Los procesos de erosión hídrica por salpicadura, arroyada laminar y concentrada en *rills*, junto con la actividad gravitacional observada, movilizan materiales desde las cabeceras de las cárcavas hasta los colectores, rellenándolos; éstos son evacuados mediante procesos de encajamiento en los canales efímeros, y sedimentados en pequeños conos aluviales. En los barrancos sobre arcasas, los eventos de precipitación poco intensos y de alta frecuencia tienden a rellenar los lechos arenosos, mientras que la fusión nival y las precipitaciones de alta intensidad y baja frecuencia vacían los canales, sedimentando en zonas apicales de los conos aluviales. En las cárcavas sobre arenas silíceas, los primeros datos obtenidos apuntan a unas tasas de erosión y producción de sedimentos muy elevadas, ya que sobre ellas se produce escorrentía y erosión hídrica de manera casi instantánea; por ello, los eventos de precipitación de baja intensidad son capaces de sedimentar en las zonas apicales de los conos, mientras que los eventos de alta intensidad originan lóbulos telescópicos sobre conos aluviales existentes en pedimentos.

ABSTRACT

Two areas located at the edge of the North piedmont of the Guadarrama Mountains (province of Segovia) show a conspicuous development of gullies. A series of valley side gullies, or ravines, cut on arkosic sand sediments of Miocene age at the Río Chico Valley (southwest of the Segovia province); and slope gullies, cut on silica sand, shale and gravel sediments of Upper Cretaceous age, on the slopes of a set of mesas and cuevas at the río Cega piedmont (Pedraza region, south centre of the Segovia province).

This paper characterizes the geomorphic activity of both types of gullies. In addition, the quantification of their current activity is initiated. The objectives are: to know which processes are eroding and mobilizing the sediments within the gullies, and to evaluate their rates, intensity, frequency and connectivity.

A detailed field survey shows that weathering processes (sandstone sheeting, and the formation of popcorn structures on shale layers), and splash, sheet and rill erosion, along with sand and mud falls, slides and flows move sediment from the gully slopes and internal divides to the dry washes. These materials are temporary stored in ephemeral stream channels (filled with sandy bed material), evacuated by stream-bed scour and fill processes, and deposited in alluvial cones.

In order to get a first approximation of the amount of erosion and sediment movement, a set of field methods have been applied to these areas. These methods include: erosion pins, measurement of pedestals, system of rods and washers, pit traps (box and gabion check-dam types), and topographic surveys after extensive sedimentation on alluvial cones, along with the installation of pluviographs.

The results show how on the arkosic valley side gullies, the precipitation events of low intensity and high frequency tend to fill the sandy stream-beds, whereas the snowmelt and the high intensity and low frequency precipitation events scour the sandy stream-beds. The sedimentation occurs here at the apex part of the alluvial cones, which rest directly on the nearby floodplain of the Chico River.

On the silica sand slope gullies, the first gathered data point at very high rates of erosion and sedimentation (44.1 tons/ha for a single event), which is interpreted due to the fact that runoff and water erosion occurs here almost instantaneously after precipitation. Here, the precipitation events of low intensity and high frequency produce sedimentation at the apex part of the alluvial cones, whereas the high intensity and low frequency precipitation events sediment in the form of telescopic lobes, on existing alluvial cones, which rest on pediments.

1. INTRODUCCIÓN

Las cárcavas y barrancos (*gullies*) son pequeños valles de paredes y cabeceras verticalizadas y perfiles longitudinales de pendiente elevada, que transmiten flujos efímeros y están sujetos a una intensa erosión hídrica. A lo largo del borde del piedemonte norte de la Sierra de Guadarrama (provincia de Segovia), aparecen toda una serie de cárcavas y barrancos bien desarrollados (DÍEZ & MARTÍN DUQUE, 2005), que se pueden agrupar en dos grandes tipologías y localizaciones: barrancos (*valley side gullies*; CAMPBELL, 1989), o también “*ravines*”, sobre arenas arcósicas de edad Mioceno (en el valle del río Chico o Piezga, en las proximidades de Ituero y Lama); y cárcavas “de ladera” (*slope gullies*; CAMPBELL, 1989) sobre arenas silíceas de edad Cretácico Superior (en el piedemonte del valle del río Cega, comarca de Pedraza).

En ambos casos, estas formas del terreno se asocian a litologías fácilmente erosionables, y a un régimen climático que puede clasificarse como semiárido, si bien su origen y evolución temporal no se conocen bien aún. Los barrancos sobre arcosas parecen estar condicionados por el encajamiento del curso fluvial más próximo (río Chico), que muestra un desplazamiento hacia una de las vertientes de su valle, de manera que obliga a sus barrancos afluentes a erosionar aguas arriba, desplazando sus cabeceras hacia atrás por erosión remontante. En contraste, la mayor parte de las cárcavas sobre arenas silíceas parecen ser el resultado de procesos erosivos desencadenados y acelerados por actividades humanas de minería, cantería y sobrepastoreo, los cuales habrían tenido lugar en estas comarcas a partir de la Alta Edad Media, y de manera muy intensa desde el siglo XVIII (MORENO, 1989).

En el marco del proyecto de investigación CGL2006-07207 se están llevando a cabo estudios con el objetivo de conocer la actividad geomorfológica de estas cárcavas y barrancos en términos de tasas de actuación de los distintos procesos que movilizan sedimentos, intensidad de dichos procesos, frecuencia de ocurrencia de los mismos, condiciones meteorológicas que desencadenan su funcionamiento, y conectividad entre ellos (HARVEY, 2001; THOMAS, 2001). En este trabajo se caracteriza su actividad geomorfológica, y se inicia su cuantificación, siguiendo metodologías que se ajustan a la naturaleza de cada uno de los procesos que son objeto de medida.

Un estudio de la dinámica geomorfológica de estas cárcavas, que ayude a comprender su funcionamiento detallado, además de un indudable interés científico, puede contribuir a conocer

sus posibles efectos sobre las actividades humanas. Estos efectos, si bien no presentan aquí una alta peligrosidad, sí que afectan de manera frecuente a la actividad económica, social y ambiental, ya que aterran vías de comunicación y campos de cultivo, producen pérdidas de suelo en zonas agrícolas y forestales, e incrementan la turbidez de los cursos fluviales próximos.

Además, el análisis funcional de las cárcavas sobre arenas silíceas ofrece un extraordinario interés por tres motivos: (a) el desarrollo de cárcavas sobre este tipo de litologías es poco común a nivel mundial; (b) dado que su nivel de base local lo forman una serie de canales sobre rocas muy resistentes (ortogneises), cuyo encajamiento vertical debe ser muy bajo, su funcionamiento y evolución debería mostrar una conexión muy directa con los factores ambientales, de manera que su estudio puede servir como indicador de posibles cambios ambientales; (c) la información sobre su dinámica geomorfológica puede utilizarse para enfocar de manera más eficiente la restauración ecológica de terrenos afectados por la minería de ladera sobre esos mismos materiales, en tanto existe una gran similitud entre el funcionamiento geomorfológico de estas cárcavas y el de los frentes de explotación sin restaurar sobre las mismas litologías (MARTÍN DUQUE *et al.*, 1998).

2. ÁREAS DE ESTUDIO

Los dos sectores afectados por una erosión hídrica intensa se sitúan en el borde del piedemonte norte de la Sierra de Guadarrama, en el sector oriental del Sistema Central (provincia de Segovia, Comunidad Autónoma de Castilla y León). Concretamente, en la zona de contacto, o inicio, de la cuenca sedimentaria del Duero (Fig. 1).

La zona 1 se localiza en el valle del río Chico, entre las localidades de Ituero y Lama y Monterrubio, dentro de la hoja 507 del Mapa Topográfico Nacional (MTN) a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN). La altitud media es aquí de 987 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.)

La zona 2, con una altitud media de 1096 m.s.n.m., se ubica sobre el sector del piedemonte que atraviesa el río Cega, en los alrededores de la villa de Pedraza, entre las poblaciones de Caballar, Torre Val de San Pedro, Matabuena, Orejana y Valleruela de Pedraza. El conjunto de laderas acarcavadas estudiadas queda incluido dentro de las hojas 430, 431, 457 y 458 del MTN a escala 1:50.000 del IGN.



Fig. 1.—Situación geográfica de las dos localizaciones estudiadas (coordenadas UTM, huso 30). Arriba, vista aérea hacia el sureste de los barrancos sobre arcosas, en el valle del río Chico. Abajo, vista aérea hacia el Norte de las cárcavas sobre arenas silíceas de la comarca de Pedraza. Fotos reproducidas en Díez & MARTÍN DUQUE (2005).

—Geographic location of the two studied areas (coordinate UTM, zone 30). Upper photo, aerial view towards the South East of the gullies developed on arkosic slopes, at the Río Chico valley. Lower photo, aerial view towards the North of the gullies developed on silica sand slopes, at the Pedraza region. Photos included in Díez & MARTÍN DUQUE (2005)

El clima del piedemonte segoviano se puede definir como “Mediterráneo Continentalizado de Templado a Frío” (MORENO, 1989). Su lejanía al mar, su elevada altitud, y su cercanía a la Sierra del Guadarrama, dan lugar, a grandes rasgos, a inviernos fríos y prolongados; también a una precipitación moderada, que llega a hacerse muy escasa durante el verano, corto y cálido.

Para la zona 1, que ocupa una superficie de unos 9 km², se cuenta con una estación meteorológica en Villacastín, a tan sólo 4,8 km del área estudiada. Esta estación se encuentra a 1095 m.s.n.m. Su registro es prácticamente continuo desde 1945 hasta 2007. La media anual de precipitación para ese periodo es de 458,6 mm, con variaciones que van desde 796,8 mm en 1976 a 303,2 mm en 1968. Se producen grandes contrastes: meses en los que no hay precipitaciones y otros en los que éstas son considerables (180,7 mm en octubre de 1960). La mayor intensidad de lluvia en 24 horas fue de 72 mm (octubre de 1949). La zona 2, de mayor extensión (unos 18 km²), no incluye ninguna estación meteorológica, si bien hay varias en las proximidades; la más cercana se sitúa en el municipio de Matabuena, a 1154 m.s.n.m. Dicha estación cuenta con un registro de precipitaciones desde el año 1936 hasta la actualidad. La precipitación media anual para ese periodo es de 677 mm, aunque se han registrado máximas de hasta 992 mm (año 1959) y mínimas de 443,4 (año 2001). Los datos de esta estación muestran también grandes variaciones temporales en la precipitación. El registro de mayor intensidad diaria es de 120,2 mm (año 1982). A partir de estos datos se deduce que tanto la intensidad como la precipitación total son mayores en la zona 2 que en la zona 1.

La caracterización térmica se lleva a cabo a partir de la estación de Segovia, a 1005 m.s.n.m, y en una posición fisiográfica intermedia y equivalente a ambas localizaciones (Fig. 1). Esta estación cuenta con un registro continuo desde 1971 y puede considerarse representativa del clima del borde del piedemonte norte del Guadarrama. Sus datos muestran una temperatura media anual de 11,9 °C (INM, 2001) con grandes oscilaciones, ya que la temperatura media de las máximas mensuales es de 28,8 °C en julio y la mínima es de 0,3 °C en enero. De media anual se registran en esta estación 56 días de heladas, 13 días de nieve y 76 días de lluvia (mayor o igual a 1 mm) (INM, 2001).

El piedemonte norte del Guadarrama está constituido por un basamento de rocas ígneas y metamórficas del Proterozoico y Paleozoico. Dicho basamento está en contacto, mediante una serie de cabalgamientos, con una cobertera de

sedimentos del Cenozoico (zona 1) y del Mesozoico, concretamente del Cretácico Superior (zona 2).

En la zona 1, los barrancos se desarrollan sobre arenas arcósicas del Mioceno (unidad 6 en la figura 2), que incluyen cantos y bloques de granito, gneis y cuarzo (ITGE, 1990). Estos sedimentos se depositaron en sistemas de abanicos aluviales que emergían del Sistema Central, situado unos pocos kilómetros al Sur de esta localización, que en este periodo estaba elevándose (DÍEZ *et al.*, 2007). El encajamiento de la red fluvial sobre esos sedimentos formó un paisaje caracterizado por una sucesión de lomas y vaguadas (campiñas), interrumpido por los encajamientos de los cursos fluviales principales (FERNÁNDEZ, 1987).

Las cárcavas de la zona 2 se desarrollan sobre sedimentos de arenas silíceas, arcillas y

gravas en facies Utrillas, correspondientes a las Formaciones Arenas de Utrillas, Arenas y Arcillas de Castro de Fuentidueña, y Arenas y Arcillas de Segovia, de edades Cenomaniense, Turo-niense y Coniaciense respectivamente (ITGE, 1991). Estos depósitos detríticos (unidad 4 en la Figura 2) forman una secuencia deposicional de aproximadamente 70 metros de espesor, separada por dos superficies de erosión. Las arenas están compuestas mayoritariamente por cuarzo, con menor proporción de feldespato y micas, estas últimas transformadas a caolín y esmectita. Estos sedimentos han sido descritos como depósitos fluviales de tipo *braided* y de abanicos costeros (*fan deltas*) (ITGE, 1991).

El relieve de este sector se caracteriza por cuevas y mesas. Las monteras que culminan estos paisajes tabulares están constituidas por

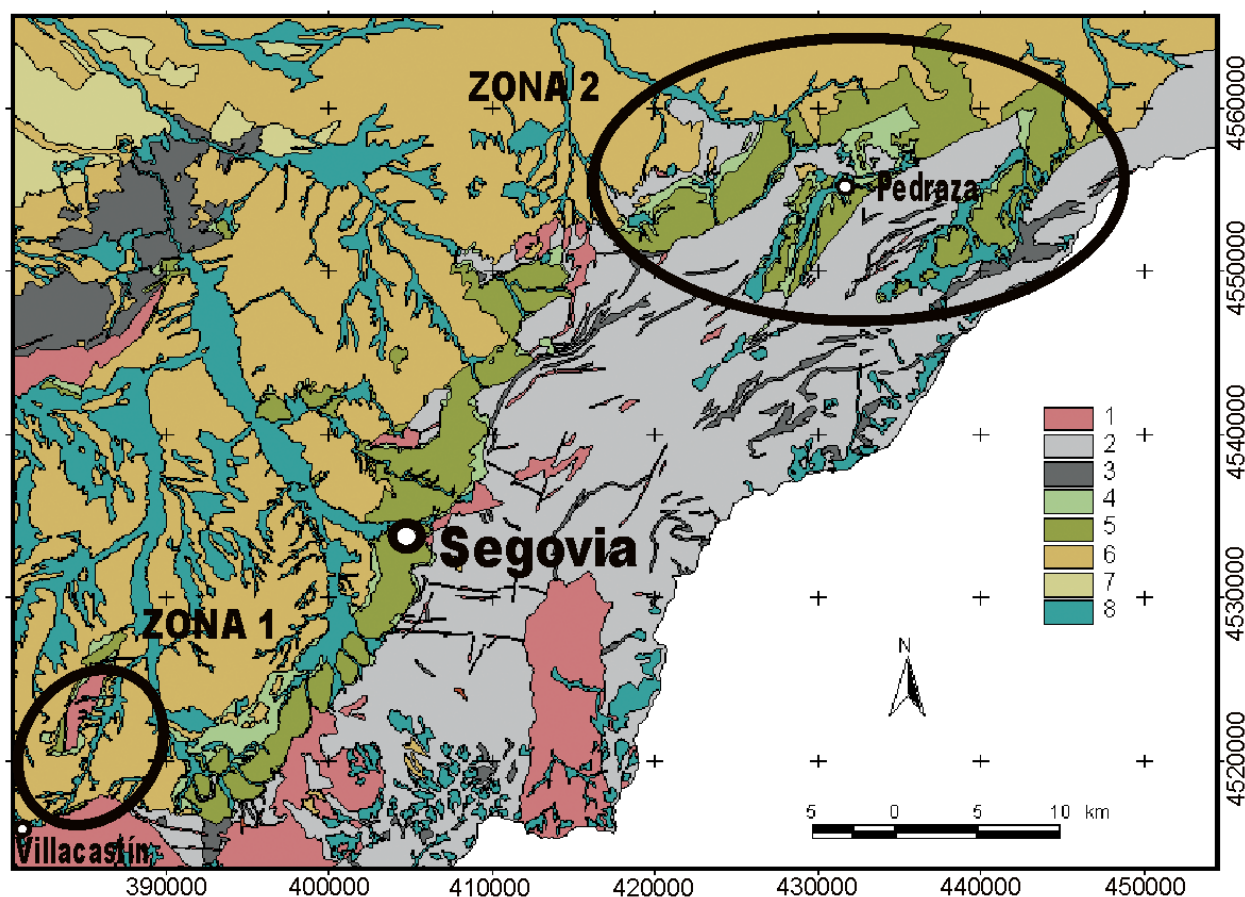


Fig. 2—Mapa litológico del piedemonte norte de la Sierra de Guadarrama, y su entorno. (1) granitoides y rocas filonianas; (2) gneises y mármoles; (3) esquistos, pizarras y cuarcitas; (4) arenas silíceas; (5) dolomías y calizas; (6) arenas arcósicas y otras rocas detríticas terciarias; (7) arenas feldespáticas; (8) gravas, arenas, limos y arcillas.

—Lithological map of the North Piedmont of the Guadarrama Mountains and its surroundings. (1) granitoid and filonian rocks; (2) gneisses and marbles; (3) schists, slates and quartzites; (4) silica sands; (5) limestones and dolostones; (6) arkosic sand and other Tertiary detrital rocks; (7) feldspar sands; (8) gravel, sand, silt and shales.

rocas carbonáticas de origen marino (unidad 5 en la figura 2) depositadas en ambientes de plataforma, con episodios de influencia continental (ALONSO, 1981). Las laderas de las cuevas y mesas tienen una pendiente media de 20°, una morfología convexo-cóncava, y en su mayoría se encuentran recubiertas por depósitos coluvionares. Estos depósitos coluvionares, procedentes de la erosión de las monteras culminantes, están compuestos por bloques y cantos de caliza englobados en una matriz areno-arcillosa. Allí donde se desarrollan las cárcavas, el coluvión ha sido erosionado, quedando al descubierto los materiales detríticos de las facies Utrillas.

Sobre la zona 1 se desarrolla una asociación de suelos (FAO, 1998) de cambisoles eútricos, regosoles dísticos y luvisoles háplicos (FORTEZA *et al.*, 1987). Los luvisoles háplicos caracterizan las zonas más altas y de menor pendiente de las campiñas, y los regosoles dísticos y los cambisoles eútricos las laderas y vertientes sobre las que se desarrollan los barrancos estudiados. Los regosoles dísticos y cambisoles eútricos son suelos poco evolucionados, de perfil A/C (suelos minerales), sometidos a intensos procesos de erosión por arroyada concentrada y en manto, y que en muchos casos, como ocurre en las laderas de estos barrancos, impiden la existencia de cultivos. Si esas laderas tienen pendientes muy altas, la erosión hídrica y los movimientos gravitacionales imposibilitan la existencia de suelo, y por tanto el sustrato de bloques, cantos y arenas arcóscas aflora directamente en superficie.

Sobre las laderas acarcavadas de la zona 2 se desarrolla una asociación de suelos de cambisoles cálcicos, leptosoles rendzicos y arenosoles cámbicos (FORTEZA *et al.*, 1987). Los dos primeros aparecen sobre los coluviones carbonáticos, y los arenosoles cámbicos cuando el suelo se desarrolla directamente sobre los sedimentos en facies Utrillas. Una buena parte del interior de las cárcavas se encuentra desprovisto de suelo, y en esos casos el sustrato arenoso y arcilloso queda expuesto en superficie, siendo extremadamente vulnerable a la erosión hídrica.

La vegetación de la zona 1 habría sido originalmente un encinar, aunque los cultivos de cereales le han sustituido casi totalmente. Precisamente es en el interior de los barrancos estudiados donde se conservan los escasos restos de encinar, por la imposibilidad de cultivar sobre los mismos. Toda la comarca está sometida a un pastoreo generalizado de ganado ovino. En algunas parcelas próximas a las incisiones se han llevado a cabo reforestaciones con pinos, y en otras, en las que se ha abandonado el cultivo de cereales,

se está produciendo una recuperación espontánea de la cubierta vegetal.

El uso que el hombre ha hecho del territorio en la comarca que incluye la zona 2 ha sido intensivo desde hace al menos 800 años, dando lugar a una notable modificación de los ecosistemas y del paisaje (MORENO, 1989). Esos usos van desde el carboneo, el pastoreo y los cultivos, que han dado lugar a una progresiva deforestación (MORENO, 1989), hasta aprovechamientos mineros para extraer arenas silíceas y arcillas de las laderas, y roca caliza de las culminaciones de mesas y cuevas, que explican el origen de muchas de estas cárcavas. En la actualidad estos usos del suelo han perdido importancia y las laderas se encuentran cubiertas por masas forestales mixtas de encinas y sabinas en un claro proceso de recuperación. El interior de las cárcavas se encuentra desprovisto de vegetación arbórea, salvo algunos ejemplares aislados de pinos, que ven favorecida su existencia por el sustrato arenoso.

3. RECONOCIMIENTO DE PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS ACTIVOS

Los procesos geomorfológicos activos no son observables normalmente. Lo son sus resultados, a partir de análisis cualitativos de las formas del terreno: cicatrices de erosión, signos de sedimentación, afección a elementos de edad conocida, etc. Por este motivo, la identificación de los procesos geomorfológicos activos que operan en el interior de las cárcavas estudiadas ha constituido la primera fase de la investigación, y se ha realizado a partir de un análisis detallado de sus formas (Apéndices 1 y 2). Dicho reconocimiento y caracterización tuvo cuatro objetivos: (1) observar qué procesos movilizan la mayor parte de sedimentos; (2) conocer qué procesos activos pueden ser objeto de cuantificación; (3) estudiar cuál es el mejor método para su medición, en función de la actividad observada; (4) identificar posibles emplazamientos para instalar material experimental.

La caracterización de los procesos activos de la zona 1 ha consistido en una descripción de campo de las formas que denotan actividad geomorfológica (Apéndice 1). Para la zona 2, de mayor extensión y diversidad fisiográfica, se realizó un inventario sistemático de un total de 75 cárcavas, para lo cual se diseñó un formulario específico. Como síntesis del inventario de esas 75 cárcavas se ha elaborado el Apéndice 2, que organiza y describe las formas y procesos que caracterizan su actividad geomorfológica.

4. METODOLOGÍA PARA EL SEGUIMIENTO DE PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS ACTIVOS

Dado que cada uno de los dos tipos de cárcavas muestra una morfología y actividad distintas (Fig. 3), los métodos empleados para comenzar a cuantificar su actividad geomorfológica han sido distintos (Tabla I). Las medidas efectuadas se han correlacionado con datos de precipitación obtenidos mediante pluviógrafos HOB0, ubicados cada uno de ellos en posiciones fisiográficas representativas de las dos localizaciones estudiadas, o con los datos de las estaciones meteorológicas más próximas del INM.

Los procedimientos de medida de la erosión del suelo iniciados corresponden, en todos los casos, a medidas directas sobre el terreno, o “métodos de reconocimiento” (HUDSON, 1997), que bien calculan el material perdido en un lugar o bien calculan el material acumulado el otro. Se considera que estos métodos constituyen la mejor manera de obtener una primera aproximación al volumen de movimiento de sedimentos, siendo adecuados en situaciones en las que no existen datos previos; y también cuando la erosión y sedimentación están localizadas, su posición es predecible y sus índices son elevados, tal y como sucede en las cárcavas y barrancos objeto de análisis. La principal ventaja de estos métodos es su sencillez y su bajo costo y mantenimiento, y en algunos casos la flexibilidad para su medición. En todos los casos, las interpretaciones deben ser

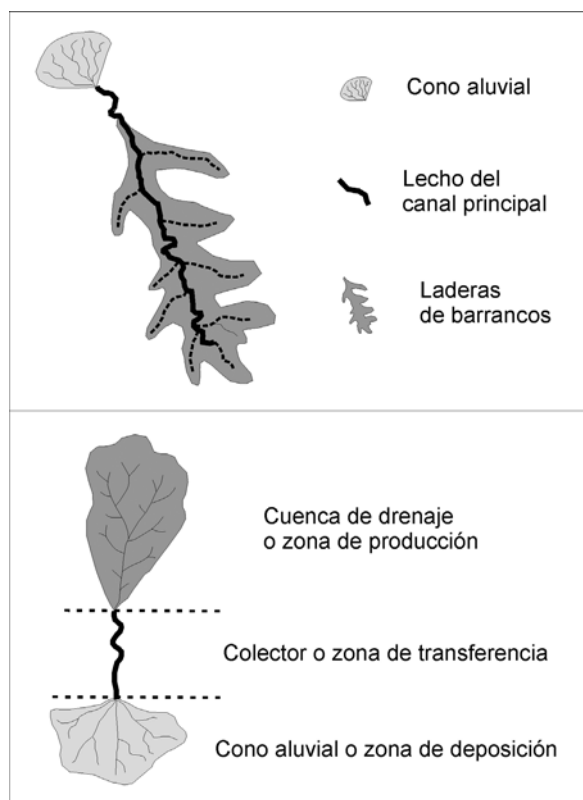


Fig 3.—Esquema morfológico en planta de: (a) los barrancos de la zona 1; (b) las cárcavas de la zona 2.

—Morphological plan sketch of the: (a) valley side gullies of zone 1; (b) slope gullies of zone 2.

Tabla I.

MÉTODOS DE RECONOCIMIENTO	EROSIÓN/ ACUMULACIÓN	TIPO DE PROCESO	POSICIÓN EN LA CÁRCAVA	TIPO DE MEDICIÓN	LOCALIZACIÓN
I. Mediciones del cambio de nivel de la superficie (medidas en dos dimensiones)	Medidas de erosión	Erosión laminar y en regueros	Cuenca de drenaje <i>(zona de erosión)</i>	– Varillas o agujas de erosión	Zona 2
		Movimientos gravitacionales		– Pedestales	Zona 2
					– Elementos de referencia
II. Medidas volumétricas o tridimensionales	Medidas de acumulación	Transporte a lo largo de los lechos arenosos	Colector <i>(zona de transferencia)</i>	– Sistemas de barras y arandelas	Zona 1
				– Diques de sedimentación (tipo gavión)	Zona 2
				– Trampas o pozos de sedimentación (tipo cajón)	Zona 2
			Sedimentación en <i>pediments</i>	Cono aluvial <i>(zona de sedimentación)</i>	– Estimación de volúmenes depositados en conos/abanicos mediante topografía

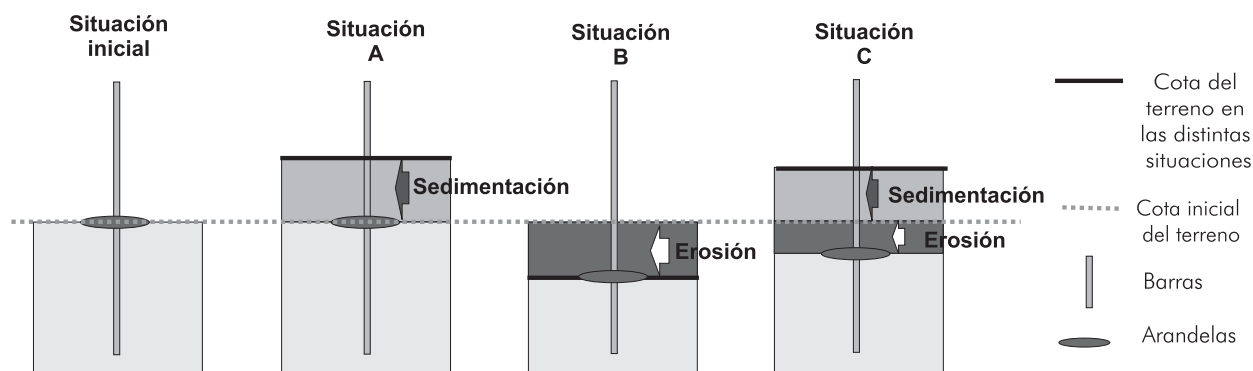


Fig. 4.—Posibles efectos generados en un canal efímero tras un evento lluvioso, medibles mediante barras de erosión con arandelas. Situación A (sedimentación); la arandela ha quedado enterrada y la cota del terreno es más elevada que la anterior, y por consiguiente la diferencia de cotas constituye el relleno del canal. Situación B (erosión); la cota del terreno ha descendido por encajamiento y la arandela se ha deslizado hasta esa nueva posición, de modo que el descenso de la arandela indica el socavamiento. Situación C (erosión y relleno posterior); la cota del terreno es superior a la inicial y a su vez la arandela queda en una posición más baja de la que tenía en un principio, de manera que la erosión es la medida desde la arandela hasta la cota inicial del terreno, y la sedimentación desde la arandela hasta la cota actual del terreno.

—Different effects in an ephemeral sandy stream-bed after a precipitation event, recorded by a system of rod and washers. Situation A (fill); the washer has been buried and the stream-bed level is higher than before the event, so that the difference in height is the channel's filling. Situation B (scour); the stream-bed level has been lowered by scouring, so that the washer has gone down up to the new stream-bed level, and the difference in height record the scour rate. Situation C (scour and fill); the stream bed-level is higher than the former one, but at the same time, the washer is found in a lower position that the one in which it was placed; therefore, the scouring is recorded by the difference between the washer position and the former bed-level, and the filling is recorded by the difference between the washer and the current stream-bed level.

cuidadosas, ya que en función de lo que se mida (cambio del nivel de la superficie o medidas volumétricas), su precisión puede ser muy diferente (HUDSON, 1997).

4.1. *Barrancos sobre arenas arcóscas del valle del río Chico (zona 1)*

4.1.1. Medida del retroceso de las paredes de las cárcavas

La utilización de elementos que tienen una posición fija en el terreno y una fecha de instalación conocida puede permitir realizar mediciones localizadas y obtener tasas de erosión y sedimentación (GODFREY, Com. Pers.). En este caso, el procedimiento consistió en la búsqueda de elementos que pudieran haber estado afectados por el retroceso de las cabeceras y paredes de los barrancos, habiéndolo encontrado una única localización que cumplía este supuesto.

4.1.2. Transporte de sedimentos en lechos arenosos a partir de un sistema de barras y arandelas

El fondo de los barrancos de la zona 1 conforma un lecho plano y arenoso de circulación efímera, de una anchura media de medio metro, el cual sufre grandes variaciones (erosión y sedimentación) en función de los procesos que tienen lugar en la cuenca (deslizamientos de tierras, grandes tormentas, fusión nival, etc.). El empleo

de un sistema de barras y arandelas aporta una valiosa información sobre los cambios de nivel de esos canales (Fig. 4). Por ello, en el otoño de 2005 se instalaron un total de 20 barras en el lecho de un canal representativo de la zona. Inicialmente se instalaron barras en un sólo canal de la cabecera (canal A en Fig. 5) pero en otoño de 2006 se añadió al estudio otro canal (B en Fig. 5), también de la cabecera.

Cada barra, de 16 mm de diámetro, se clavó aproximadamente medio metro en el lecho arenoso del fondo del barranco, dejando al descubierto una longitud cercana a un metro. Una vez clavada se colocó una arandela que dejaba la barra en su interior, situada a ras del terreno, con un diámetro un poco mayor al de la barra, de manera que pudiera deslizarse libremente. La arandela, si bien es cierto que presenta limitaciones a la hora de medir erosión laminar y concentrada (SANCHO *et al.*, 1991), aporta información adicional muy útil en el fondo de canales efímeros, ya que registra la erosión y sedimentación ocurridas en un mismo periodo de precipitación (HUDSON, 1997).

Durante un periodo de dos años (noviembre de 2005 a noviembre de 2007), al final de cada estación, y también tras eventos en los que la precipitación ha sido muy intensa, se ha medido la longitud expuesta de la barra, y también la distancia hasta la arandela si ésta estaba enterrada (Fig. 4).

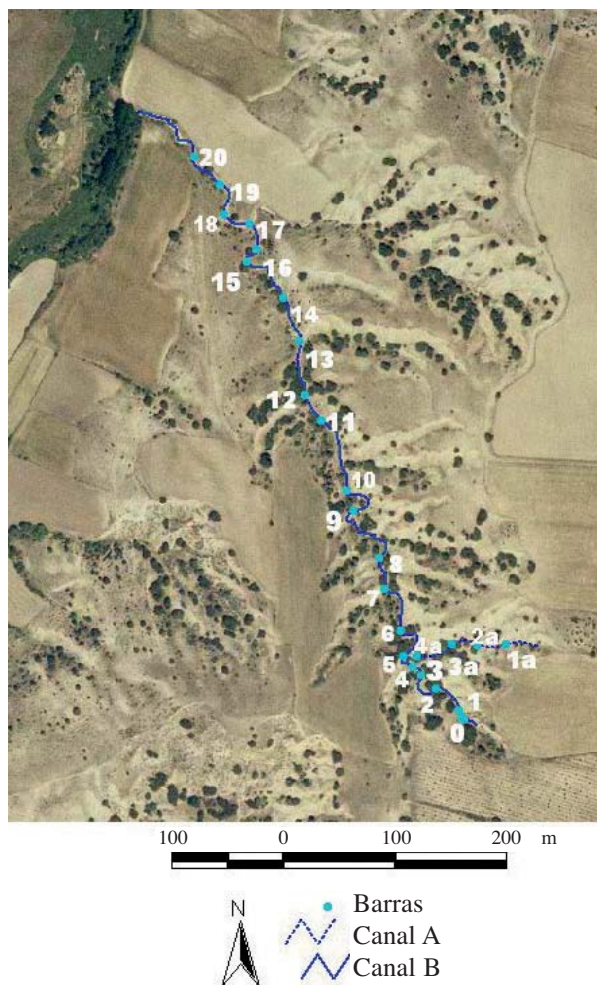


Fig. 5.—Ortophoto que muestra la posición de las barras con arandelas dentro del barranco de la zona 1 seleccionado para su seguimiento.

—Ortophoto showing the location of the rods and washers within the ravine of zone 1 selected for its monitoring.

4.2. Cárcavas sobre arenas silíceas de la comarca de Pedraza (zona 2)

4.2.1. Medidas de erosión laminar mediante agujas de erosión

Las agujas de erosión, también llamadas varillas, clavos, piquetas, estacas o testigos de erosión, son muy utilizadas en estudios que tratan de cuantificar variaciones microtopográficas rápidas, como ocurre por ejemplo en zonas acarcavadas, minas o taludes artificiales (HAIGH, 1977; SANCHO *et al.*, 1991).

Las agujas empleadas han sido electrodos de soldar (de 30 cm de longitud y 5 mm de diámetro),

ya que tienen una cubierta que los protege de la oxidación, lo que garantiza su perdurabilidad. Las localizaciones escogidas para la instalación de las agujas proceden del inventario detallado de reconocimiento de este sector (Apéndice 2), y fueron dos divisorias del interior de una cárcava, sometidas a erosión laminar exclusiva. Al ser lugares en donde no se prevé sedimentación, las agujas se clavaron de 20 a 25 cm, para asegurar un buen anclaje en el suelo, dejando al descubierto entre 5 y 10 cm. Las agujas se dispusieron con una separación de 60 cm siguiendo la cuerda de la divisoria y, perpendicular a ésta, dos perfiles siguiendo la inclinación de las laderas norte y sur. Las agujas, un total de 104, fueron colocadas el 7 de julio de 2007. Las mediciones se realizan a partir de la longitud expuesta de la aguja, la cual va aumentando con el tiempo y proporciona la tasa de erosión local, y se efectúan con un acúmetro, instrumento diseñado específicamente para la medición de este tipo de agujas (DÍEZ, 2005). De estas dos áreas, una se mide al final de cada estación y la otra se medirá al final de la investigación, con el fin de conocer si el proceso de medición ejerce alguna influencia sobre los procesos erosivos.

4.2.2. Medidas de erosión laminar mediante el seguimiento de la variación de la altura de pedestales

Al producirse una precipitación intensa sobre un suelo fácilmente erosionable se produce erosión por arroyada y por salpicadura. Pero si una parte de este suelo queda cubierta por una piedra o una raíz que lo proteja, tendrá lugar el desarrollo de un pedestal bajo la estructura protectora. La medición periódica de la altura de este pedestal nos dará como resultado el rebajamiento producido en el suelo a lo largo del tiempo (HUDSON, 1997). En este estudio se ha medido la altura de pedestales formados por gravas y cantos en divisorias interiores y zonas entre regueros (*inter-rill*) de laderas de interfluvios, en localizaciones favorables también identificadas durante la fase de reconocimiento. El total de pedestales medidos fue de 14, y el inicio de la medición fue el 7 de julio de 2007.

4.2.3. Medidas de producción de sedimentos a partir de una trampa de sedimentos de tipo dique (gavión)

Los diques de corrección hidrológica se han estudiado para estimar tasas de producción de sedimentos, normalmente las ocurridas en el pasado, a partir de los cálculos volumétricos de las cuñas de sedimentos que quedan retenidas por dichas estructuras. Pero si no están colmatadas,

su seguimiento se puede realizar usando sistemas de barras o jalones, que vayan dando una medida del relleno del vaso. Este método se ha utilizado en el río Quípar, Murcia (ROMERO DÍAZ, 2007) y se está llevando a cabo en el Alto Tajo por los autores de este artículo.

Como un método original del estudio de las cárcavas del piedemonte segoviano puede considerarse la construcción de una trampa de sedimentos tipo dique (gavión), basada en los principios de los diques de corrección hidrológica, con un muro permeable construido con malla metálica y relleno de bloques, cantos y gravas del entorno, que retiene los sedimentos. Aprovechando la circunstancia de que una de las cárcavas inventariadas tenía un colector que se encontraba encajado en el sustrato hasta 0,75 m (en una longitud de 32 m, y una anchura media de 1,5 m), el 11 de junio de 2007 se construyó un gavión en la zona final del colector encajado, habilitando así una trampa de sedimentos de gran capacidad de almacenamiento. Una vez construido, además de instalar barras a lo largo del fondo del canal para facilitar su medición cada vez que hubiera un episodio de sedimentación, se efectuó un levantamiento topográfico del área de la cárcava y del canal encajado, para poder así obtener medidas volumétricas detalladas del depósito y conocer, mediante la densidad, la producción específica de sedimentos.

4.2.4. Medida de producción de sedimentos a partir de una trampa de sedimentos tipo cajón

La trampa tipo “cajón” (GODFREY *et al.*, 2007), permeable al agua pero no a los sedimentos, tiene el mismo fundamento que los denominados “pozos de sedimentación” (HUDSON, 1997); consiste en un cajón de chapa galvanizada de 1,5 m de ancho (adaptado a la anchura del colector seleccionado), de 2,25 m de largo y de 0,75 m de profundidad. Estas dimensiones, que pueden resultar exageradas para una cárcava con una cuenca de drenaje de 0,1 ha, fueron elegidas tras la observación de los efectos que tuvieron sobre cárcavas de la misma naturaleza tormentas muy intensas, estableciendo para ello relaciones sencillas entre área de las cárcavas y volúmenes de sedimentación (ver epígrafe 5.2.5). Para la colocación del cajón fue preciso excavar en el lecho arenoso un hueco con las mismas dimensiones que la trampa, dejando el borde de entrada de sedimentos enrasado con el fondo del canal, con una pequeña repisa que impidiera la erosión del borde del colector por el descenso del nivel de base que supone la trampa. El cajón se instaló el 28 de septiembre de 2007, con el objetivo de comenzar a registrar datos antes del inicio del

año hidrológico 2007-2008. Hasta el momento se ha descartado utilizar colectores de escorrentía y sedimentos tipo Gerlach, debido a las grandes dimensiones de las cuencas de drenaje y al volumen importante de carga de fondo producido (de más del 95 %). Después de cada evento de precipitación, los sedimentos recogidos por la trampa se pesan directamente en campo, con un sistema de cubos y balanzas, y se toman muestras para analizar en laboratorio su contenido en agua, gracias a lo cual se puede conocer el peso total de arena seca.

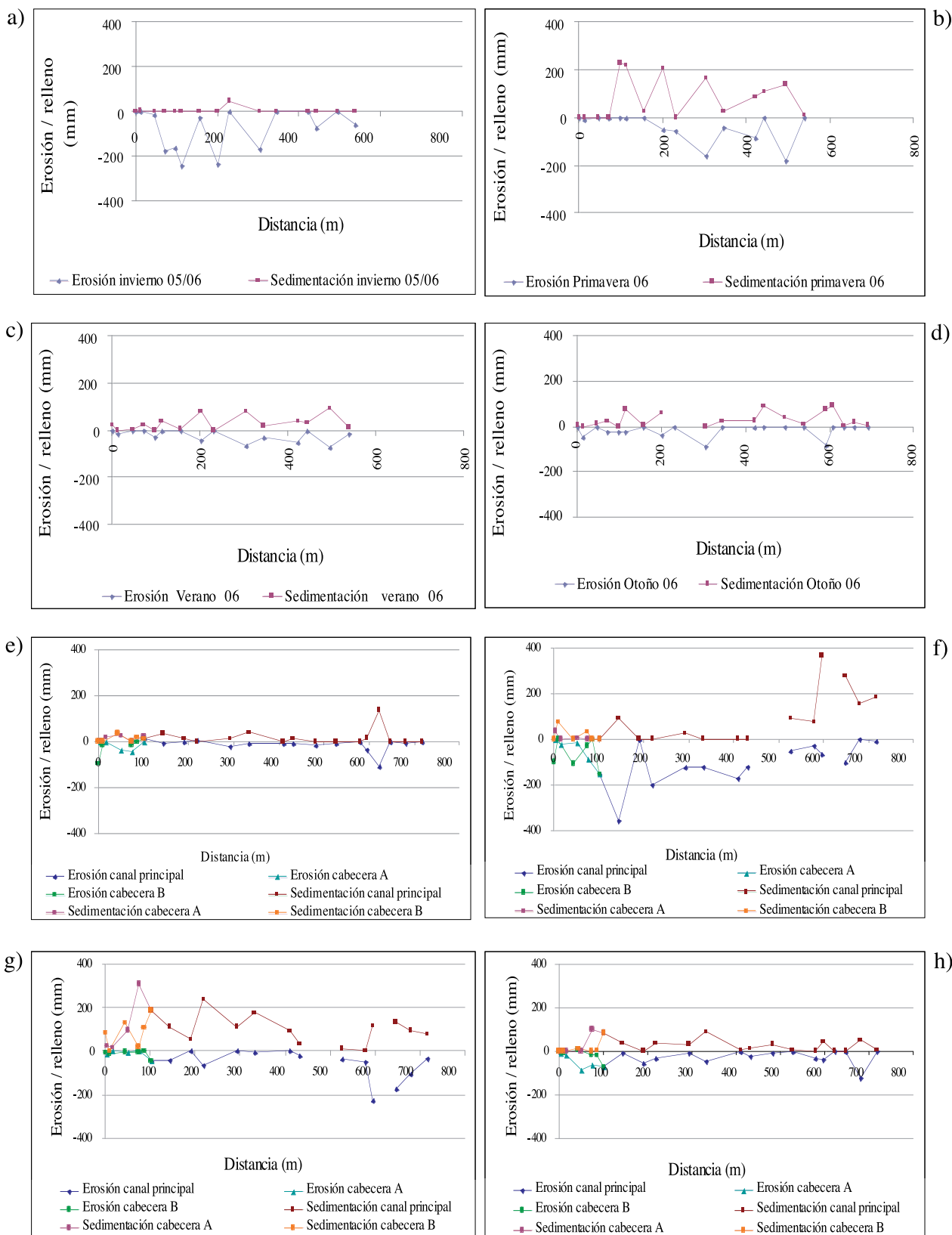
4.2.5. Estimación de volúmenes depositados en conos y abanicos aluviales

Este método consiste en calcular, como consecuencia de eventos extremos de lluvias, el volumen de materiales que se depositan en determinados conos aluviales de la comarca, favorables para su medición volumétrica. Este hecho se ve favorecido cuando la sedimentación afecta a la red de carreteras comarcales, en tanto se tiene el nivel de referencia de la carretera, y existe la posibilidad de conocer que ha ocurrido sedimentación a través de los servicios de mantenimiento de carreteras de la Diputación Provincial de Segovia. En este supuesto, el procedimiento consiste en determinar el volumen de materiales que forman el depósito de los sedimentos, y en la toma de muestras para determinar la densidad del depósito y calcular así la masa. En estos casos, la arena depositada es retirada rápidamente por los servicios de mantenimiento de carreteras, por lo que las medidas corresponden a eventos individualizados.



Fig. 6.—Postes de una valla instalada en 1995 en la cabecera de un barranco sobre arcasas, que han sido socavados por erosión remontante.

—Fence posts, installed in 1995 on the headwall of a valley side arkosic gully, which were undercut by backslope erosion.



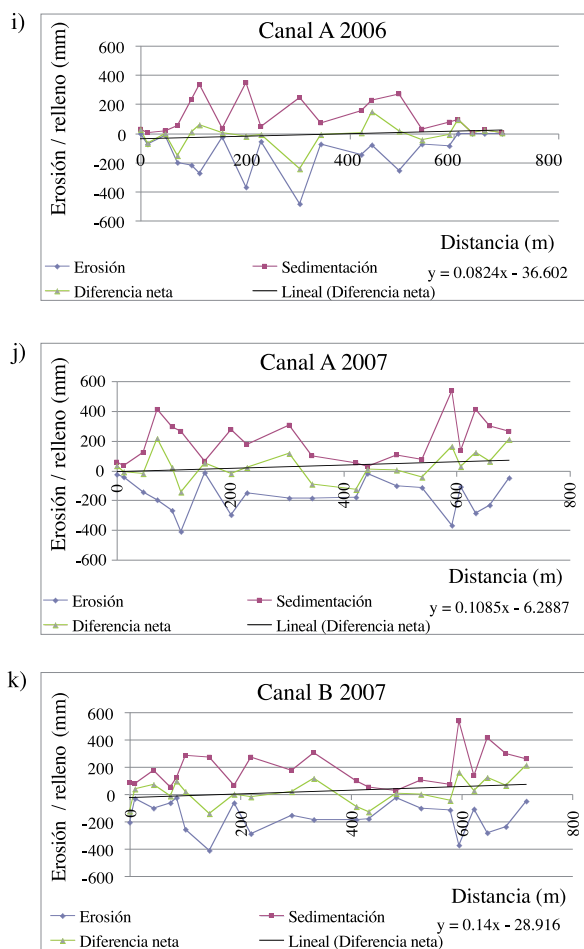


Fig. 7.—Patrones espaciales de relleno y erosión obtenidos mediante las barras de erosión y arandelas. (a) (b) (c) (d), año 2006 con canal de cabecera A; (e) (f) (g) (h), año 2007, con canales de cabecera A y B. (i) (j) (k), total anual de erosión y sedimentación, así como el movimiento neto de sedimentos en cada canal.

—Spatial patterns of cross-sectional average scour and fill obtained by means of rods and washers. (a) (b) (c) (d), year 2006, with first order stream A as headwater; (e) (f) (g) (h), year 2007, with first order streams A and B as headwaters. (i) (j) (k), total annual of scour and fill, and net change for both first-order streams.

5. RESULTADOS

5.1. Barrancos sobre arenas arcóscas del valle del río Chico (zona 1)

5.1.1. Medida del retroceso de las paredes de las cárcavas

La Figura 6 muestra una serie de postes metálicos que fueron clavados 40 cm en la cabecera de uno de los barrancos de la zona 1 en el año 1995. En el año 2007, es decir 12 años después, 3 postes aparecen descalzados esos 40 cm; a su vez, la

pared del barranco se encuentra actualmente unos 50 cm aguas arriba de la posición original del poste. Ello muestra unas tasas mínimas de rebajamiento del nivel del terreno de 3,3 cm/año, y de 4,1 cm/año de retroceso de las paredes.

5.1.2. Transporte de sedimentos en lechos arenosos a partir de un sistema de barras y arandelas

Los resultados obtenidos se pueden observar en la figura 7. El encajamiento máximo observado fue de 35,8 cm y el máximo relleno ha sido de 36,4 cm, ambos producidos en la primavera del 2007, tras la tormenta del 25 de mayo.

5.2. Cárcavas sobre arenas silíceas de la comarca de Pedraza (zona 2)

5.2.1. Medidas de erosión laminar mediante agujas de erosión

Las tasas de erosión obtenidas, que se refieren a un periodo de 5 meses, se muestran en la figura 8. La erosión en la divisoria (figura 8a) ha sido de 1,61 mm de media, alcanzando en algunos casos los 8 mm. En la ladera norte del interfluvio se han obtenido valores de erosión medios de 1,55 mm (Fig. 8b). En la ladera sur (Fig. 8c) la erosión fue de 1 mm de media, menor que en los otros dos perfiles.

5.2.2. Medidas de erosión laminar mediante el seguimiento de la variación de la altura de pedestales

Los resultados obtenidos para el periodo de julio a diciembre de 2007 aparecen en la figura 9. La erosión media bajo estos pedestales ha sido de 2,5 mm, con una clara tendencia a incrementarse en la zona inferior de la divisoria, donde la pendiente es mayor. En cambio, en los pedestales medidos en la ladera del interfluvio, no se ha registrado rebajamiento alguno, si bien uno de los pedestales se había caído.

5.2.3. Medidas de producción de sedimentos a partir de una trampa de sedimentos de tipo dique (gavión)

Desde su instalación, la trampa tipo gavión se ha ido relleno con las sucesivas lluvias. La figura 10 muestra ese proceso de relleno progresivo. Ha habido pequeños eventos de precipitación en los que no se ha registrado depósito de sedimentos. La Tabla II muestra la sedimentación media a lo largo del canal encajado y el volumen de sedimentos atrapados, teniendo en cuenta que el área del tramo del canal encajado es de unos 50 m², el área de la cárcava de 0,9 ha y la densidad del depósito 1,4 g/cc.

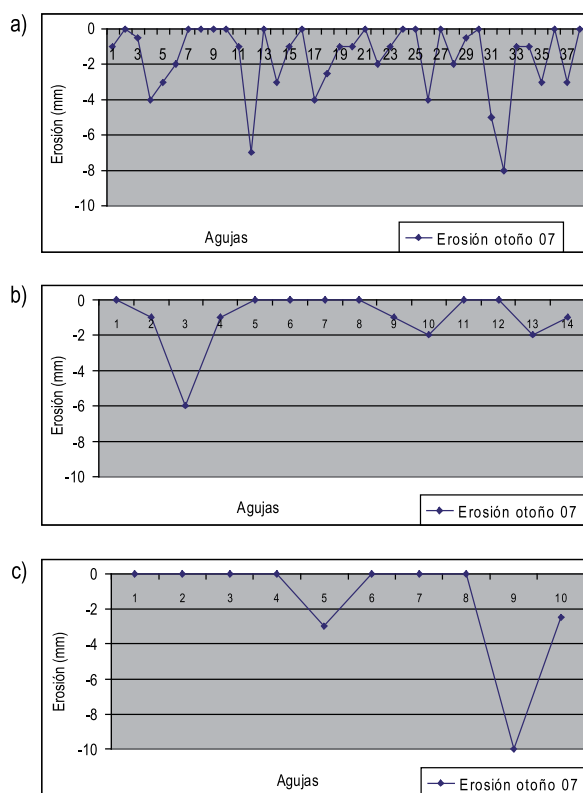


Fig. 8.—Resultados de rebajamiento obtenidos mediante agujas de erosión. (a) En la divisoria (aguja 1, posición topográfica más alta). (b) En la ladera norte (aguja 14 en la posición topográfica más alta); (c) En la ladera sur (aguja 1 en la posición topográfica más alta).

—Lowering surface results obtained from erosion pins. (a) at the divide (pin 1, higher topographical position); (b) Northern slope (erosion pin, higher topographical position); (c) Southern slope (erosion pin 1, higher topographical position).

5.2.4. Medida de producción de sedimentos a partir de una trampa de sedimentos tipo cajón

Desde la instalación del cajón tan sólo han ocurrido 5 eventos de precipitación que han producido arrastres de sedimentos, con los resultados presentados en la Tabla II. En ninguno de estos eventos el agua rebosó la trampa, y los materiales finos se decantaron en el fondo, por lo que no se perdió el dato de la carga en suspensión.

5.2.5. Estimación de volúmenes depositados en conos y abanicos aluviales

El 25 de mayo de 2007, la carretera que une las localidades de La Velilla y Pedraza (Segovia) quedó completamente cubierta por sedimentos de un cono aluvial procedente de una cárcava próxima (Fig. 11). El cono formado tenía unas dimensiones de 18 x 14 metros y 50 cm de altura máxima, y el volumen sedimentado estimado fue de unos 31,5 m³, con una densidad de 1,4g/cc, por lo que se calcula que el depósito fue de 44,1 toneladas para un único evento de precipitación, evacuadas a partir de una cárcava de tan sólo una hectárea de superficie. La precipitación de este evento no fue registrada ni por la estación meteorológica más próxima (Matabuena), ni por el único pluviógrafo instalado en el entorno (averiado por el aparato eléctrico de la tormenta) ni por las imágenes radar del INM. La precipitación registrada en las estaciones de Torreiglesias y Turégano, situadas respectivamente a 18 y 16 km de la cárcava, fue de 27,5 y 26 mm en 24 horas, sin registro de intensidad horaria. El carácter local de estas tormentas convectivas de verano hace que esos valores no aporten mucha información, y

Tabla II.

Eventos de precipitación	Precipitación Total (mm)	Intensidad máx. en 30 min. (mm/hora)	Trampa tipo dique			Trampa tipo cajón	
			Sedimentación media en el canal encajado (mm)	Masa de arena (kg)	Producción específica de sedimentos (t/ha/evento)	Masa arena seca (kg)	Producción específica de sedimentos (t/ha/evento)
25 de agosto de 2007	8,2	S.R.	43,4	3038	3,376	S.R.	S.R.
22 de septiembre de 2007	11,4	S.R.	1,6	112	0,124	S.R.	S.R.
1 al 4 de octubre de 2007	51,4	12,4	106,8	7476	8,306	746	7,46
19 al 22 de noviembre de 2007	10,1	1,6	Sin producción de sedimentos			7,24	0,07
11 y 12 de enero de 2008	10,6	4,8	23,5	1645	1,8	42,59	0,43
2 al 3 de febrero de 2008	10	1,6	Sin producción de sedimentos			0,421	0,04
27 y 28 de febrero de 2008	11	3,2	Sin producción de sedimentos			0,664	0,07

de hecho es posible que la precipitación total y la intensidad fueran elevadas, si tenemos en cuenta las descripciones de la población local y los efectos geomorfológicos.

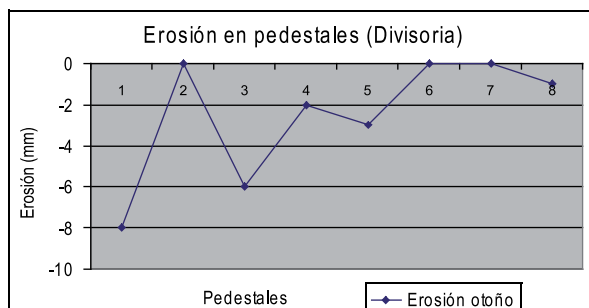


Fig. 9.—Erosión a lo largo de una divisoria interior de una cárcava medida con pedestales (pedestal 1 en la posición topográfica más baja).

—Erosion on an interior divide within a gully, recorded from measurements of pedestals (pedestal 1, lower topographical position).

6. DISCUSIÓN

6.1. Barrancos sobre arenas arcóscas del valle del río Chico (zona 1)

6.1.1. Medida del retroceso de las paredes de las cárcavas

En este caso, más que unas tasas de rebajamiento y retroceso homogéneas y uniformes, se

trata en realidad de procesos gravitacionales y de erosión hídrica “rápidos”, probablemente asociados a eventos de precipitación muy intensos. A pesar del carácter puntual de la medida, ésta otorga un primer orden de magnitud de la erosión remontante de estos barrancos, que deberá ser contrastada con estudios fotogramétricos.

6.1.2. Transporte de sedimentos en lechos arenosos a partir de un sistema de barras y arandelas

Los datos obtenidos muestran, para el periodo estudiado (el cual puede considerarse seco para el conjunto de esta región), el siguiente patrón de movimiento de sedimentos:

a) En otoño, la actividad geomorfológica ha sido baja, dado que la cantidad e intensidad de las lluvias de esos dos años también lo ha sido. El movimiento de sedimentos se reduce a unos pocos eventos intensos o continuados de precipitación, como el ocurrido del 1 al 3 de octubre de 2007.

b) En invierno, la fusión nival desencadena movimientos en masa generalizados en las paredes de los barrancos, y actúa también en el fondo de los canales arenosos, en los cuales produce un intenso vaciado de sedimentos, “sacando” el material del interior de los barrancos hasta las proximidades del cono aluvial. Este proceso quedó bien registrado durante el invierno de 2005 a 2006.

c) En primavera, la actividad geomorfológica ha sido también muy baja, si bien algunas tormentas de alta intensidad del final de la estación produjeron encajamientos significativos en las

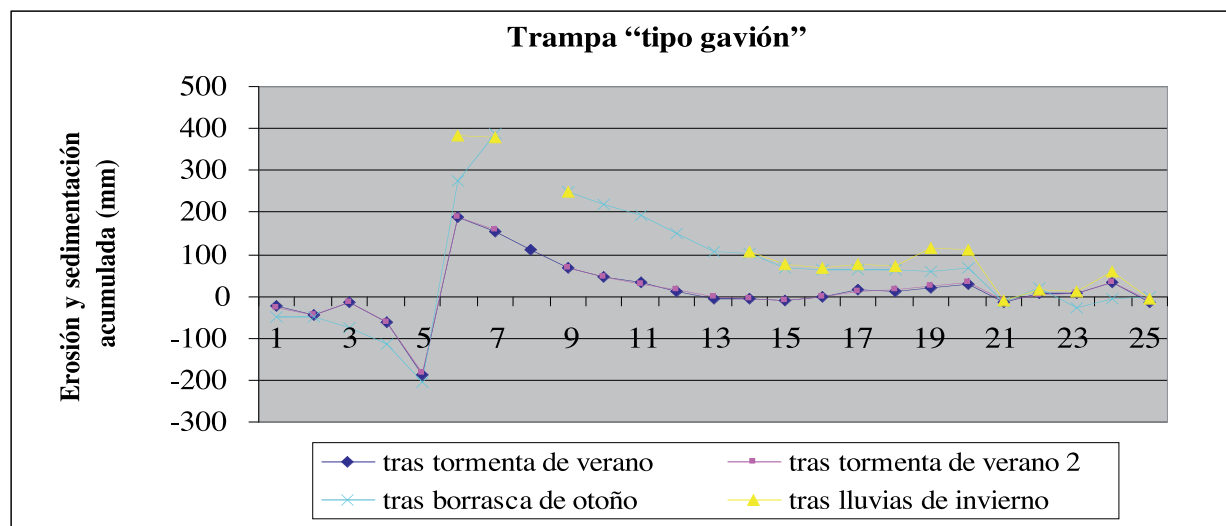


Fig. 10.—Relleno sucesivo de la trampa de sedimentos tipo dique, construida en un canal encajado. El gavión se encuentra entre las barras 5 y 6, y el punto en el que el canal se encaja está entre las barras 20 y 21.

—Consecutive filling of the gabion check-dam type sediment trap, built on an incised channel. The gabion is located between rods 5 and 6, and the nick-point from where the channel is incised is located between rods 20 and 21.



Fig. 11.—Vista de la carretera que une las localidades de La Velilla y Pedraza, aterrada por el depósito de un cono aluvial, recién retirado, como consecuencia de la tormenta del 25 de mayo de 2007. Obsérvese la cárcava de la cual proceden los sedimentos al fondo.

—View of the local road which connects the villages of La Velilla and Pedraza, filled with sand of an alluvial cone, just cleared up, as a consequence of the storm of May 25th, 2007. Note the gully watershed at the background.

posiciones de cabecera del canal, y rellenos en las zonas distales. Estos cambios se observaron en mayor medida en la primavera del 2007, cuando las lluvias fueron más intensas, en concreto de hasta 55,5 mm en 24 horas en un sólo evento.

d) En verano, la actividad geomorfológica quedó limitada a los efectos derivados de tormentas convectivas, como las ocurridas a finales de agosto de 2007, las cuales, en función de su intensidad, pueden exportar sedimento fuera del sistema, o bien simplemente moverlo desde la cabecera hasta zonas topográficamente más bajas, próximas a los conos aluviales. Las observaciones de campo para ese periodo mostraron una intensa erosión en *rills* en las laderas, con sedimentación directa sobre los canales.

La recta de regresión del movimiento neto (Fig.7.i, 7.j, 7.k) muestra que la erosión se produce en cabecera y la sedimentación en la zona más distal, y que en 2007 hubo mayor movimiento de sedimentos que en 2006.

6.2. Cárcavas sobre arenas silíceas de la comarca de Pedraza (zona 2)

6.2.1. Medidas de erosión laminar mediante agujas de erosión

A pesar del breve periodo de tiempo transcurrido (julio a diciembre de 2007), y a pesar de que

ese periodo de 2007 ha sido muy seco, se ha registrado una erosión laminar intensa. La mayor parte de esta erosión se corresponde con las lluvias de principios de octubre, donde se registró una precipitación de 51,4 mm en 4 días. Todo ello pone de manifiesto la extremada susceptibilidad a la erosión hídrica laminar de los interfluvios arenosos del interior de las cárcavas. Aunque la utilización de agujas de erosión está cuestionada en zonas de *badlands*, sobre todo si existen materiales arcillosos que pueden experimentar cambios de volumen o de densidad aparente, estimamos que su utilización en este tipo de materiales de arenas y areniscas ofrece una mayor garantía, y puede incluirse por tanto dentro del tipo de medidas útiles para un primer reconocimiento de los procesos erosivos.

6.2.2. Medidas de erosión laminar mediante el seguimiento de la variación de la altura de pedestales

Al igual que los resultados obtenidos con el método de las agujas, se observa que la erosión es intensa, a pesar del corto periodo de tiempo transcurrido y de las escasas precipitaciones recibidas en ese periodo. Llama la atención que la erosión sea menor en la ladera norte del interfluvio que en la divisoria, hecho que puede deberse a que la escorrentía se concentra aquí en surcos (*rills*), y por tanto es menor en su forma laminar.

6.2.3. Medidas de producción de sedimentos a partir de una trampa de sedimentos de tipo dique (gavión)

La escasez de datos disponibles hasta el momento hace que la principal discusión de este procedimiento sea de tipo metodológico. Así, las trampas de sedimentos de tipo dique se muestran como muy adecuadas para ser capaces de almacenar la sedimentación producida en esta comarca por eventos extremos. Todo ello a pesar de que su precisión sea menor, y su vida útil esté limitada en el tiempo.

6.2.4. Medida de producción de sedimentos a partir de una trampa de sedimentos tipo cajón

Teniendo en cuenta que las arenas en facies Utrillas están descubiertas en tan sólo un 8,43% de la superficie de la cuenca estudiada (81,12 m²), y dado que se han medido contenidos en arenas de cuarzo del depósito final de hasta un 97,25%, cabe interpretar que la gran mayoría de sedimentos provengan de estas zonas, con lo que la tasa de erosión en ellas sería muy elevada. Por ejemplo, si se asume que ésta es el área fuente del total de sedimentos recogidos, se estimaría una producción específica de sedimentos de 92,09 t/ha para el evento de principios de octubre de 2007.

La precisión de la trampa tipo cajón es mayor que la de la trampa hecha con gaviones. Por ello, y a la vista de los datos obtenidos, se concluye la necesidad de instalar un mayor número de trampas tipo cajón en distintas cárcavas localizadas aleatoriamente. Su diseño estará inspirado en las trampas tipo Birkbeck (GARCIA *et al.*, 2000), con el fin de registrar la escorrentía y de reducir los trabajos de retirada de sedimentos, ya que éstas únicamente recogen una fracción de la carga de fondo.

6.2.5. Estimación de volúmenes depositados en conos y abanicos aluviales

Al igual que los resultados ofrecidos por las trampas de sedimentos, las medidas directas tras eventos extremos muestran una erosión muy intensa en las cárcavas de la zona 2, exageradamente elevada en el caso de las tormentas de finales de primavera (44,1 t/ha para un único evento). En efecto, la producción específica de sedimentos es elevada aquí si se compara con la obtenida para otros estudios realizados para zonas acarcavadas en España, como son entre 170 t/ha/año y 258,6 t/ha/año para Bardenas Reales (Navarra) registradas mediante colectores (SIRVENT, 1997) ó 37,5 t/ha registradas también mediante colectores en un evento de 87 mm en el sureste español (CANTÓN *et al.*, 2001). Por todo ello, se considera que este método de estimación de volúmenes depositados en conos aluviales será realmente útil para esta comarca.

7. CONCLUSIONES

Las cárcavas y barrancos del borde del piedemonte norte de la Sierra de Guadarrama

constituyen formas del terreno en cuyo interior tiene lugar una intensa actividad geomorfológica. Dicha actividad se produce de manera diferenciada en cabeceras, colectores y conos aluviales, según distintos tipos de procesos (hídricos en laderas, gravitacionales y fluviales), que actúan de manera distinta para movilizar y evacuar sedimentos desde las laderas hasta pedimentos y llanuras aluviales (Fig. 12).

Las cabeceras o cuencas de drenaje (en el caso de las cárcavas de ladera, *slope gullies*), y las paredes de los barrancos (*valley side gullies*), están sujetas a procesos de meteorización (tipo lajamiento en niveles de arenas cementadas y formando estructuras de tipo *popcorn* en niveles arcillosos), que preparan el material que será erosionado en los periodos de lluvia. En estas laderas o paredes de cárcava, los sedimentos se movilizan por procesos de salpicadura, erosión hídrica de tipo laminar y concentrada (en regueros y surcos), *piping*, y por distintos tipos de caídas, deslizamientos, flujos y reptaciones de rocas, arenas, arcillas y suelos, los cuales actúan sobre sustratos que en un alto porcentaje están directamente expuestos en superficie, sin ningún tipo de protección edáfica o de cubierta vegetal. Los procesos hídricos transportan materiales hasta el interior o las proximidades de la red de colectores principales, formando mantos y pequeños conos arenosos, mientras que los procesos gravitacionales producen aportes de sedimentos directamente sobre los propios canales arenosos.

Estos materiales son evacuados de las cabeceras a través de los colectores principales mediante procesos fluviales, que aunque a pequeña escala, movilizan grandes cantidades de sedimentos. Fundamentalmente como carga de fondo,

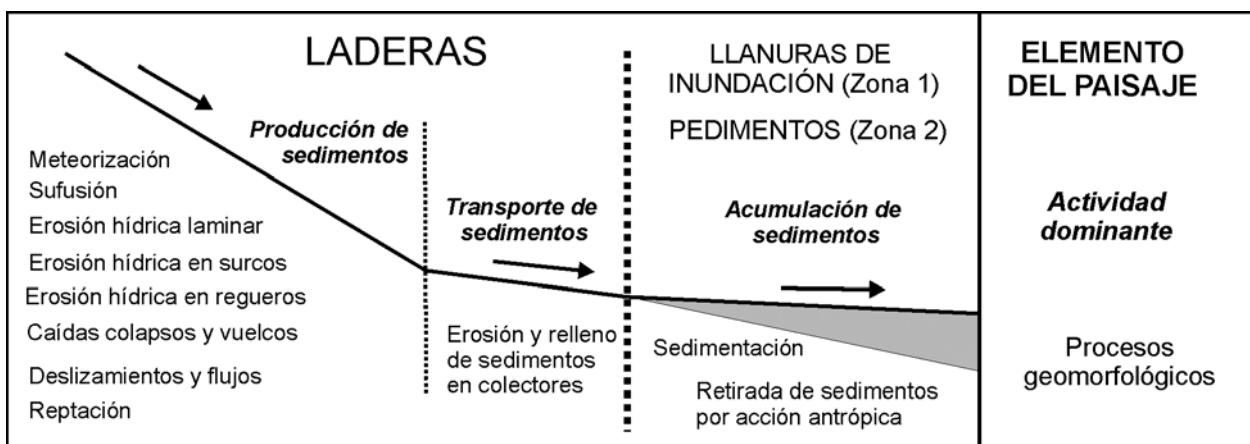


Fig. 12.—Conectividad del sistema geomorfológico en cárcavas del borde del piedemonte norte del Guadarrama.

—Geomorphic system connectivity in the gullies of the edge of the Northern piedmont of Guadarrama.

según procesos de encajamiento (*scour*) y relleno (*fill*) en los canales. En las dos zonas estudiadas, la carga en suspensión es muy pequeña, dada la naturaleza predominantemente arenosa de las áreas fuente.

Finalmente, los sedimentos transportados por los colectores principales son depositados en conos aluviales, situados sobre llanuras aluviales (zona 1) o sobre pedimentos (zona 2). En la zona 1 únicamente existe sedimentación sobre los conos tras eventos de precipitación de alta intensidad, la cual se lleva a cabo sobre las zonas más distales de los canales de los barrancos; éstas forman las partes apicales de conos aluviales, que en realidad son un ensanche del colector principal, y son capaces de almacenar un volumen importante de sedimentos. En la zona 2, los eventos de precipitación de baja intensidad son capaces de sedimentar en las partes apicales de los conos, mientras que los eventos de alta intensidad originan lóbulos telescópicos sobre conos aluviales existentes en pedimentos.

Cabe destacar que la actividad humana ha intervenido en gran medida en este balance sedimentario. Sin entrar a valorar la influencia antrópica en la propia formación de los conos aluviales, que parece muy clara en la zona 2 (MORENO, 1989), al igual que en otras regiones peninsulares (GÓMEZ VILLAR & GARCÍA RUIZ, 1997), lo cierto es que en ambas localizaciones, la población local ha procedido y procede a recoger el material arenoso “recién” depositado en los conos, que al estar “lavado” era y es muy apreciado para su utilización en construcción. En el pasado la recogida se hizo por métodos manuales, y desde hace años con tractores. Tan frecuente ha sido esta actividad que una buena parte de las zonas apicales de los conos aluviales muestran signos de ese aprovechamiento. Por todo ello, no dudamos en considerar esta actividad humana de recogida de sedimentos como un proceso geomorfológico más, a la hora de considerar el movimiento y balance de sedimentos y su conectividad (Fig. 12).

Respecto a la cuantificación de procesos, es preciso considerar su carácter preliminar y de reconocimiento inicial, pues abarca un máximo de dos años, si bien tiene el valor de aportar los primeros datos de erosión hídrica en cárcavas para estas comarcas.

Las paredes de los barrancos desarrollados sobre arenas arcóscas sufren un retroceso de sus cabeceras por procesos mixtos gravitacionales y de erosión hídrica. A partir de elementos de referencia, ha sido posible cuantificar una tasa de retroceso mínima de 4,1 cm al año, que deberá ser contrastada en el futuro con estudios fotogra-

métricos. En este sector, se ha observado una gran actividad asociada a los lechos arenosos del fondo de los barrancos. La configuración de estos canales sufre grandes variaciones (por encajamiento y relleno), en función de los procesos que tienen lugar en la cuenca, que en síntesis funcionan de la manera siguiente: los movimientos gravitacionales y los eventos de precipitación poco intensos tienden a rellenar los lechos arenosos, y a cargarlos de sedimentos, mientras que los procesos de fusión nival y las precipitaciones de tipo tormenta tienden a vaciar los lechos.

Los datos sobre cuantificación de procesos en las cárcavas sobre arenas silíceas son muy preliminares, ya que sólo se cuenta con datos a partir de mayo de 2007. Sin embargo, a pesar de esa escasez de datos, éstos ya apuntan a unas tasas de erosión y a producciones específicas de sedimentos muy elevadas. Comparando los dos tipos de cárcavas, puede concluirse que en las desarrolladas sobre arenas silíceas se produce escorrentía y erosión hídrica de manera casi instantánea, incluso bajo precipitaciones de muy escasa intensidad y cantidad, mientras que las desarrolladas sobre arcasas del oeste provincial (Ituero y Lama-Zarzuela del Monte) necesitan más precipitación para que se produzca escorrentía.

La utilización de nuevos métodos de reconocimiento “directos”, en los cuales ya se está trabajando, tales como el empleo de microperfiladores topográficos con medidor láser, métodos dendrogeomorfológicos en raíces expuestas (BODOQUE *et al.*, 2005), y la instalación de nuevas trampas de sedimentos inspiradas en las de tipo Birkbeck, debería permitir obtener una buena idea del funcionamiento actual de estas cárcavas. A pesar del carácter básico de este tipo de técnicas de reconocimiento, estimamos que aportan información muy útil, y que su utilización es necesaria en situaciones en las que no existen datos previos, como ocurre en estas comarcas. El empleo de métodos más avanzados, tales como la realización de simulación de lluvias o la modelación hidrológica de las pequeñas cuencas que configuran los *gullies*, constituirá la siguiente fase de trabajo.

AGRADECIMIENTOS

El estudio de procesos geomorfológicos activos en cárcavas del borde del piedemonte norte del Guadarrama se está llevando a cabo en el marco del proyecto de investigación CGL2006-07207, financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia de España. Los autores agradecen la revisión crítica del manuscrito original por parte

de José M. García Ruiz y Celso García, cuyos comentarios han sido muy útiles; y guardan un recuerdo especial de Andrew E. Godfrey, fallecido en agosto de 2006, cuya colaboración en la puesta en marcha del proyecto CGL2006-07207 fue determinante.








Recibido el día 11 de febrero de 2008







Aceptado el día 24 de marzo de 2008

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, A. 1981. El cretácico de la provincial de Segovia (borde norte del Sistema Central). *Seminarios de Estratigrafía*, 7:1-271.
- BODOQUE, J.M., Díez, A., MARTÍN DUQUE, J.F., RUBIALES, J.M., GODFREY, A.E., PEDRAZA, J., CARRASCO, R.M. & SANZ, M.A. 2005. Sheet erosion rates determined by using denrogeomorphological analysis of exposed tree roots: two examples from Central Spain. *Catena*, 64: 81-102.
- CANTÓN, Y., DOMINGO, F., SOLÉ-BENET, A. & PUIGDEFÁBREGAS, J. 2001. Hydrological and erosion response of badlands systems in semiarid SE Spain. *Journal of Hydrology*, 252: 65-84.
- CAMPBELL, I.A. 1989. Badlands and badland gullies. In: D.S.G. THOMAS, Ed. *Arid Zone Geomorphology*, págs. 159-183. Belhaven Press, London.
- DÍEZ, A. 2005. *Acúmetro: instrumento para la medición de las agujas de erosión*. 8 págs. N.R.P.I. SG-32/2005, Junta de Castilla y León, Segovia.
- DÍEZ, A. & MARTÍN DUQUE, J.F., 2005. *Las raíces del paisaje. Condicionantes geológicos del territorio de Segovia*. 464 págs. Junta de Castilla y León, Segovia.
- DÍEZ, A.; MARTÍN DUQUE, J.F.; & VICENTE, F. 2007. *A todo riesgo. Convivir con los desastres geológicos cotidianos. Guión de la excursión científico-didáctica de la Semana de la Ciencia 2007*. 69 págs. IGME, UCM y USEK, Madrid-Segovia.
- FAO 1998. *World Reference Base for Soil Resources*. 88 págs. 84 World Soil Resources Reports. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. (www.fao.org/docrep/W8594E/W8594E00.htm)
- FERNÁNDEZ, P. 1987. *Geomorfología del sector comprendido entre el Sistema Central y el macizo de Santa María de Nieva (Segovia)*. 336 págs. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- FORTEZA, J., LORENZO, L.F., NAJAC, N., et al. 1987. *Mapa de Suelos de Castilla y León. Memoria y Mapa 1:500.000*. 98 págs. Junta de Castilla y León, Valladolid.
- GARCIA, C., LARONNE, J.B. & SALA, M. 2000. Continuous monitoring of bedload flux in a mountain gravel-bed river. *Geomorphology*, 34: 23-31.
- GÓMEZ VILLAR, A. & GARCÍA RUIZ, J.M. 1997. The role of human activities in the development of alluvial fans. *Physics and Chemistry of the Earth*, 22 (3-4): 345-349.
- HAIGH, M.J. 1977. The use of erosion pins in the study of slope evolution. *British Geomorphological Research Group Technical Bulletin*, 18: 31-49.
- GODFREY, A.E., GRAUCH, R.I., & TUTTLE, M.L. 2007. Geomorphic differences between the Tununk and Blue Gate Members of the Mancos Shale near Caineville, Wayne County, Utah. In: G.C., WILLIS, M.D., HYLLAND, D.L., CLARK, T.C., Jr., CHIDSEY, Eds. *UGA Publication 36*. págs. 208-220. Utah Geological Association. Salt Lake City.
- HARVEY, A.M. 2001. Coupling between hillslopes and channels in upland fluvial systems: implications for landscape sensitivity, illustrated from the Howgill Fells, northwest England. *Catena*, 42: 225-250.
- HUDSON, N.W. 1997. Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía. *Boletín de Suelos de la FAO* 68. 147 págs. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma. (<http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s00.HTM>)
- INM 2001. *Guía resumida del clima en España 1971-2000*. 257 págs. Centro de Publicaciones, Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Madrid
- ITGE 1990. *Mapa Geológico de España 1:50.000 (El Espinar, 507)*. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid.
- ITGE 1991. *Mapa Geológico de España 1:50.000 (Pradena, 458)*. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid.
- MARTÍN-DUQUE, J.F., PEDRAZA, J., DÍEZ, A., SANZ, M.A. & CARRASCO, R.M. 1998. A geomorphological design for the rehabilitation of an abandoned sand quarry in central Spain. *Landscape and Urban Planning*, 42: 1-14.
- MORENO, F. 1989. *Zonas kársticas en la vertiente N de la Sierra de Guadarrama*. 773 págs. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- ROMERO DÍAZ, A. (Coord.). 2007. *Los diques de corrección hidrológica. Cuenca del río Quípar (Sureste de España)*. 270 págs. Universidad de Murcia, Servicio de Publicaciones. Murcia.
- SANCHO, C., BENITO, G. & GUTIÉRREZ, M. 1991. Agujas de erosión y perfiladores microtopográficos. In: *Cuadernos Técnicos de la Sociedad Española de Geomorfología*. 28 págs. Geoforma Ediciones. Logroño.
- SIRVENT, J., DESIR, G., GUTIÉRREZ, M., SANCHO, C. & BENITO, G. 1997. Erosion rates in badland areas recorded by collectors, erosion pins and profilometer techniques (Ebro Basin, NE-Spain). *Geomorphology*, 18: 61-75.
- THOMAS, M.F. 2001. Landscape sensitivity in time and space-an introduction. *Catena*, 42 (2-4): 83-98.








Apéndice 1. –Catálogo de formas que denotan procesos geomorfológicos activos en barrancos sobre arcosas de la zona 1.
 –Catalogue of landforms which denote active geomorphic processes in the arkosic gullies of zone 1.





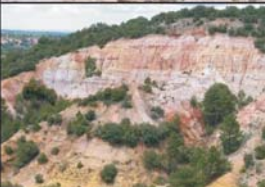



PROCESOS ACTIVOS DE METEORIZACIÓN Y EROSIÓN-SEDIMENTACIÓN HÍDRICA			
FORMAS DEL TERRENO	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO	
I. CUENCA DE DRENAJE (CATCHMENT)			
1. METEORIZACIÓN (WEATHERING)			
	1.1.Exfoliación <i>Sheeting</i>	Discontinuidades paralelas a las paredes de las cárcavas, formadas debido a la descompresión sufrida por el sustrato arcósico como consecuencia de la erosión de los barrancos.	
2. EROSIÓN POR SALPICADURA Y FLUJO LAMINAR (RAINSPLASH EROSION AND SHEET FLOW)			
FORMAS EROSIVAS	2.1. Plantas y matas en pedestal <i>Plant / grass dumps pedestals</i>	Plantas y matas de hierba que aparecen elevadas de la superficie circundante, como resultado de la protección ante la erosión laminar y de la retención de suelo salpicado que ejercen las plantas.	
3. SUFUSIÓN (PIPING)			
FORMAS EROSIVAS	3.1. Canales de sufusión <i>Pipes outlets, tunnelled sidewalls</i>	Canales y cavidades subsuperficiales producto de procesos de sifonamiento o subfusión (piping). Son muy poco comunes y aparecen en niveles con materiales más gruesos.	
4. FLUJO CONCENTRADO EN REGUEROS (RILLING)			
FORMAS EROSIVAS	4.1. Acanaladuras o surcos <i>Rill channels</i>	Canales superficiales que cruzan las laderas con patrones paralelos, debido a su alta pendiente.	
II. LECHO, FONDO DE CANAL (BED CHANNEL)			
5. ABARRANCAMIENTO (GULLYING)			
FORMAS EROSIVAS	5.1. Canales de los barrancos <i>Gully channels</i>	Canales profundos y permanentes de patrones dendríticos. Forman la red de drenaje principal de los barrancos. Vierten al canal principal; tienen mayor pendiente y su fondo no es plano y arenoso, sino que tiene una granulometría mayor y un perfil en "V".	
	5.2. Divisorias internas <i>Internal divides</i>	Son interfluvios muy homogéneos, con escasa vegetación, en los que predominan los procesos de erosión laminar.	
6. ACTIVIDAD FLUVIAL			
FORMAS DEPOSITACIONALES	6.1. Lechos arenosos de fondo de canal <i>Sand-bed channels</i>	Los procesos de relleno en el fondo de los canales principales de los barrancos, dan lugar a un lecho arenoso. Son comunes pequeñas barras y canales trenzados, que reflejan la existencia de flujos de agua efímeros.	

PROCESOS DE METEORIZACIÓN Y DE EROSIÓN-SEDIMENTACIÓN HÍDRICA			
FORMAS DEL TERRENO		DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
II. LECHO, FONDO DE CANAL (<i>BED CHANNEL</i>)			
6. ACTIVIDAD FLUVIAL			
FORMAS EROSIVAS	6.2. Terrazas en márgenes del canal <i>Stream bed terraces</i>	Tras episodios tormentosos y de fusión nival, se produce un encajamiento generalizado en los lechos arenosos, formando llamativas terrazas.	
III. ZONA DE DEPOSICIÓN (<i>DEPOSITIONAL ZONE</i>)			
7. ACTIVIDAD FLUVIAL			
FORMAS DEPOSICIONALES	7.1. Conos aluviales <i>Alluvial cones</i>	Después de eventos intensos de precipitación, el material erosionado en la cuenca de drenaje se acumula en la base de las laderas, formando los conos aluviales. Son comunes las barras y canales trenzados que reflejan el paso de flujos efímeros de agua.	
PROCESOS GRAVITACIONALES Y MOVIMIENTOS EN MASA			
I. CUENCA DE DRENAJE (<i>CATCHMENT</i>)			
8. CAÍDAS (<i>FALLS</i>)			
FORMAS EROSIVAS	8.1. Escarpes de caídas en areniscas <i>Sandstone fall scarps</i>	Superficies a favor de fracturas verticales (por descompresión), que se desarrollan paralelas a las paredes de los barrancos.	
9. DESLIZAMIENTOS PLANARES Y ROTACIONALES (<i>SLIDES, SLUMPS</i>)			
FORMAS EROSIVAS Y DEPOSICIONALES NO DIFERENCIADAS	9.1. Deslizamientos de tierras <i>Debris slides</i>	Se producen en las laderas de los <i>gullies</i> ; se ven favorecidos por la erosión producida en las márgenes externas de los meandros, por zapamiento.	
10. FLUJOS (<i>FLOWS</i>)			
FORMAS EROSIVAS Y DEPOSICIONALES NO DIFERENCIADAS	10.1. Flujos de arena y barro <i>Sand and mud flows</i>	Se desarrollan en las laderas en condiciones de alta humedad. Se forman <i>leveés</i> o diques naturales en el canal, relacionados con la alta viscosidad del flujo, y depósitos lobulares al final.	
II. LECHO, FONDO DE CANAL (<i>BED CHANNEL</i>)			
11. CAÍDAS (<i>FALLS</i>)			
FORMAS EROSIVAS Y DEPOSICIONALES NO DIFERENCIADAS	11.1. Pequeñas caídas con vuelco <i>Topples</i>	Caídas de arenas en márgenes de los colectores principales de los barrancos tras episodios en los que el canal se ha encajado.	







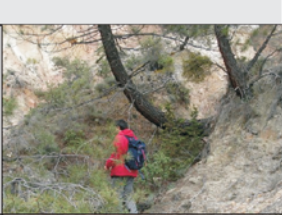

Apéndice 2.–Catálogo de formas que denotan la presencia de procesos geomorfológicos activos en las cárcavas sobre arenas silíceas de la zona 2.

–Catalogue of landforms which denote active geomorphic processes in the silica sand gullies of zone 2.

PROCESOS ACTIVOS DE METEORIZACIÓN Y EROSIÓN-SEDIMENTACIÓN HÍDRICA			
FORMAS DEL TERRENO		DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
I. CUENCA DE DRENAJE (CATCHMENT)			
1. METEORIZACIÓN (WEATHERING)			
1.1. Estructuras en “palomita de maíz” y grietas de desecación <i>Popcorn structures and desiccation cracks</i>		Pequeños montículos poligonales y costras superficiales, producidos por la desecación y expansión de materiales arcillosos.	
2. EROSIÓN POR SALPICADURA Y FLUJO LAMINAR (RAINSPLASH EROSION AND SHEET FLOW)			
FORMAS EROSIVAS	2.1. Pedestales <i>Pedestals</i>	Micro-formas condicionadas por la protección que ejercen ante la erosión hídrica partículas de mayor tamaño (gravas). Se originan preferentemente en las divisorias interiores y en laderas de pendiente moderada.	
	2.2. Raíces expuestas de árboles <i>Exposed tree roots</i>	La erosión laminar en las laderas internas de las cárcavas descubre parcial o totalmente algunas raíces de matorrales y árboles.	
3. SUFUSIÓN (PIPING)			
FORMAS EROSIVAS	3.1. Canales de sufusión <i>Pipes outlets, tunnelled sidewalls</i>	Aunque no son muy comunes, los tubos de sufusión aparecen sobre laderas arenosas del interior de las cárcavas. Son micro-canales creados por un flujo subsuperficial a favor de las fracturas en las capas de arenas silíceas.	
4. FLUJO CONCENTRADO EN SURCOS (RILLING)			
FORMAS EROSIVAS	4.1. Acanaladuras o surcos <i>Rill channels</i>	Micro-canales superficiales que inciden las laderas con patrones paralelos, debido a su alta pendiente. Dependiendo del grado de cementación de las laderas pueden ser efímeros o permanentes.	
	4.2. Microdesfiladeros y micro pozas <i>Micro-defiles, waterfalls and plunge pools</i>	Pequeñas formas erosivas del terreno, similares a saltos de agua o desfiladeros y pozas, pero de escala centimétrica. Se crean por el flujo turbulento en regueros y fracturas y por la diferente resistencia de las distintas capas de arena silícea.	
FORMAS DEPOSITACIONALES	4.3. Pequeños conos arenosos <i>Small sand cones</i>	Depósitos arenosos al pie de los surcos desarrollados en las laderas internas de las cárcavas, cuando disminuye de la pendiente de las mismas.	

PROCESOS ACTIVOS DE METEORIZACIÓN Y EROSIÓN-SEDIMENTACIÓN HÍDRICA				
FORMAS DEL TERRENO		DESCRIPCIÓN		EJEMPLO
I. CUENCA DE DRENAJE (CATCHMENT)				
5. ABARRANCAMIENTO (GULLYING)				
FORMAS EROSIVAS	5.1. Canales de los barrancos <i>Gully channels</i>		Canales profundos y permanentes de patrones dendríticos. Forman la red de drenaje principal de las cárcavas.	
	Divisoria interna (Internal divides)	5.2. Divisoria redondeada <i>Rounded divides</i>	Divisoria alomada, suavemente inclinada, condicionada por una baja cementación de las arenas.	
		5.3. Divisoria afilada <i>Knife-edge divides</i>	Divisoria muy estrechas que separan laderas de alta pendiente. Su aparición está condicionada por una fuerte cementación de las arenas.	
		5.4. Chimeneas de hadas <i>Hoodoos, cathedrals</i>	Relieves residuales de las divisoria de los barrancos interiores. Son formas cónicas de arenas silíceas, cubiertas por un bloque o capa más cementada. Están originadas por la disección de niveles más resistentes de ferricretas y silcretas.	
		5.5. Facetas triangulares <i>Talus flatirons</i>	Relieve relicto de una posición anterior de la ladera. La mayoría conserva el coluvión original, que en la actualidad está separado de las monteras de las mesas y cuevas por la erosión hídrica.	
FORMAS DEPOSICIONALES	5.6. Fondos arenosos en los canales <i>Sand-bed channels</i>		Encajamiento y relleno de depósitos arenosos en el fondo de los principales canales de las cárcavas. Son comunes los canales trenzados de arena, que reflejan la existencia de corrientes efímeras de agua.	
	5.7. Plataformas arenosas internas <i>Internal sand-bed platforms</i>		Depósito arenoso en el fondo de las cárcavas, formados por la presencia de un obstáculo en el canal como un árbol o un bloque. Llegan a tener varios metros de anchura.	
	5.8. Pequeños abanicos aluviales interiores <i>Small internal alluvial fans</i>		Pequeños depósitos arenosos con forma de cono aluvial originados en el interior de las cárcavas, debido a una disminución del gradiente de los canales interiores.	

PROCESOS ACTIVOS DE METEORIZACIÓN Y EROSIÓN-SEDIMENTACIÓN HÍDRICA			
FORMAS DEL TERRENO		DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
II. ZONA DE TRANSFERENCIA (<i>TRANSFERENCE ZONE</i>)			
6. ACTIVIDAD FLUVIAL			
FORMAS EROSIVAS	6.1. Escalones, saltos de agua y pozas a pie de cascada <i>Knickpoints, small waterfalls, and small plunge pools</i>	Los canales arenosos de la zona de transferencia cuentan con numerosos escalones y saltos de agua, formados por la presencia de capas más duras (silcretas y ferricretas) de escaso espesor. Al pie de estos saltos se forman pequeñas pozas. En episodios de lluvias intensas, el flujo turbulento de agua erosiona la base de los escalones provocando el colapso de las capas duras y de las paredes, induciendo de esta forma el retranqueo del salto de agua.	
FORMAS DEPOSICIONALES	6.2. Lechos arenosos de fondo de canal <i>Sand-bed channels</i>	Los procesos de socavación y relleno en el fondo de los canales principales de las cárcavas dan lugar a un lecho arenoso, en el que son comunes estructuras de pequeñas barras y canales trenzados, que reflejan la existencia de flujos de agua efímeros.	
II. ZONA DE DEPOSICIÓN (<i>DEPOSITIONAL ZONE</i>)			
6. ACTIVIDAD FLUVIAL			
FORMAS DEPOSICIONALES	6.3. Conos aluviales <i>Alluvial cones</i>	Después de eventos de precipitación intensa, el material erosionado en la cuenca de drenaje se acumula en la base de las laderas, formando los conos aluviales. En ellos son comunes las barras y los canales trenzados que reflejan el paso de flujos efímeros de agua.	
PROCESOS GRAVITACIONALES Y MOVIMIENTOS EN MASA			
I. CUENCA DE DRENAJE (<i>CATCHMENT</i>)			
7. CAÍDAS (<i>FALLS</i>)			
FORMAS EROSIVAS	7.1. Escarpes de caídas de rocas <i>Rock fall Scarps</i>	Las caídas de rocas se producen en las capas de calizas y dolomías que forman la montera de los cerros en cuyas laderas se desarrollan las cárcavas. Están condicionadas por la presencia de discontinuidades y fracturas. También aparecen vuelcos y colapsos, subtipos de caídas.	
	7.2. Escarpes de caídas en areniscas <i>Sandstone fall scarps</i>	Superficies a favor de fracturas verticales (tectónicas, de litogénesis o por descompresión) que se desarrollan paralelas a las paredes de las cárcavas, a partir de las cuales se producen caídas de arenas.	
FORMAS DEPOSICIONALES	7.3. Conos, derrames y pequeñas corrientes de derrubios <i>Debris cones, screes, and small streams</i>	Acumulación de bloques caídos de la montera de calizas y dolomías que se depositan adoptando distintas morfologías dependiendo de la forma preexistente de la ladera.	  

PROCESOS GRAVITACIONALES Y MOVIMIENTOS EN MASA			
FORMAS DEL TERRENO		DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
I. CUENCA DE DRENAJE (CATCHMENT)			
7. CAÍDAS (FALLS)			
FORMAS DEPOSITACIONALES	7.4. Taludes arenosos <i>Sand slopes</i>	Acumulación continua de arenas al pie de paredes arenosas subverticales, debida a las caídas de bloques y granos arenosos que se desagregan de las laderas de los <i>gullies</i> .	
8. DESLIZAMIENTOS PLANARES Y ROTACIONALES (SLIDES, SLUMPS)			
FORMAS EROSIVAS Y DEPOSITACIONALES NO DIFERENCIADAS	8.1. Micro deslizamientos <i>Micro-slumps, rotational slips</i>	Movimientos en masa superficiales que se observan en zonas arenosas y coluviones carbonáticos en la cabecera de algunas cárcavas.	
	8.2. Deslizamiento de tierras <i>Debris slides</i>	Ocurren en zonas próximas al colector de las cárcavas. Después de episodios de tormentas, el grado de humedad del suelo es elevado y la escorrentía concentrada en el canal vacía rápidamente éste, socavando los bordes y provocando el consiguiente deslizamiento.	
	8.3. Deslizamiento de costras arcillosas <i>Slab slide, slab failures</i>	Son deslizamientos muy superficiales de costras arcillosas con estructura en <i>popcorn</i> y grietas de desecación que, en las zonas de mayor pendiente, se desprenden.	
9. FLUJOS (FLOWS)			
FORMAS EROSIVAS	9.1. Micro cicatrices de flujos de barro <i>Micro-mudflow scars</i>	Formas cónicas invertidas en estratos superiores ricos en arcillas. Los flujos de barro están condicionados por las altas pendientes y los contenidos en agua.	
FORMAS DEPOSITACIONALES	9.2. Micro lóbulos de flujos de barro <i>Micro mudflow lobes</i>	Pequeños lóbulos de barro bien definidos que se acumulan a la salida de los embudos antes referidos.	
	9.3. Lóbulos arenosos derivados de flujos <i>Sandflow lobes</i>	Se desarrollan en conos o taludes arenosos con cierto contenido en arcillas y alto grado de humedad. Se forman diques naturales relacionados con la alta viscosidad del flujo.	
10. REPTACIÓN (CREEP)			
FORMAS EROSIVAS Y DEPOSITACIONALES NO DIFERENCIADAS	10.1. Reptación de suelos <i>Soil creep slopes</i>	Movimiento muy lento del suelo que sucede en los depósitos coluvionares desarrollados en el interior de los barrancos. Es sobre este coluvión donde se forman los escasos suelos recientes en el interior de las cárcavas. Este proceso se puede apreciar por los trocos curvados de los árboles.	
	10.2. Reptación de derrubios <i>Debris creep slopes</i>	Lenta removilización del coluvión original de las laderas hacia el fondo de las cárcavas.	